

香川県に分布する豊島石製石造文化財の風化程度の評価

西山賢一*・宮本和季**・長谷川修一***

*徳島大学大学院ソシオ・アート・アンド・サイエンス研究部, 〒770-8502 徳島市南常三島町 1-1

e-mail: nishiyama@tokushima-u.ac.jp

**多度津町役場

***香川大学工学部

Evaluation of weathering grade of Teshima stone used in lithic cultural heritage, Kagawa Prefecture, Japan

Ken-ichi NISHIYAMA*, Kazuki MIYAMOTO** and Shuichi HASEGAWA***

*Laboratory of Geology, Institute of Socio-Arts and Sciences, University of Tokushima

**Tadotsu town office, Kagawa Prefecture

***Faculty of Engineering, Kagawa University

Abstract

Weathering grade of Teshima stone, Miocene lapilli tuff, used in lithic cultural heritage in Kagawa Prefecture, Japan was evaluated by using colorimeter, magnetic susceptibility meter, moisture meter and schmidt rock hammer. The stone pagodas have been exposed to weathering for 200 - 600 years, and have developed surface erosion due to weathering. Basaltic rock fragments in Teshima stone are slightly weathered based on necked-eye observation with increasing weathering period. L*-value of color index increased with increasing weathering period, however a*- and b*-values of color index and magnetic susceptibility are constant with increasing weathering period. Increasing of L* value is derived from weathering of basaltic rock fragments in Teshima stone. The results of measurement of a*-, b*- values and magnetic susceptibility suggest that mineralogical weathering such as iron mineral concentration has not occurred. The hardness of excavated cave wall surface on quarry of Teshima stone using schmidt rock hammer decreases in the entrance of the cave. Weathering properties of Teshima stone are characterized by surface erosion and rapid decreasing of rock surface hardness.

Keywords: Teshima stone, lithic cultural heritage, pagoda, lapilli tuff, Setouchi volcanic rocks, Weathering grade

はじめに

応用地質学のうち、岩石物性や岩石の風化に関する研究は、石造文化財の保存や修復の面でも効力を発揮する（朽津，2010 a, b）。石造文化財の風化程度を把握し、風化メカニズムの理解に基づいた保存を進めるためには、多様なプロセスが複雑に関与する風化現象の

理解と解明とが不可欠である。ただし、石造文化財の場合には破壊測定が許されないため、種々の非破壊測定に基づいた風化程度の把握と風化プロセスの解明とを進める必要がある（朽津ほか，2005）。

本報で対象とした^{てしまいし}豊島石は、香川県に分布する火山

礫凝灰岩の石材である。豊島石は比較的軟質であるため加工しやすく、火に強いという特性を活かして、中世以降に利用が活発化し、ラントウと呼ばれる家の形をした独特の石塔や五輪塔をはじめ、近世には灯籠などに広く利用された。現存する石塔の分布は、四国全域や中国地方・九州北部、京阪神にも知られている(松田, 2009)。高松市の栗林公園、岡山市の後楽園、京都市の桂離宮などの庭園の石塔・燈籠としても用いられており、香川県の伝統工芸品に指定されている(長谷川, 2010)。豊島石は、江戸時代～明治時代にかけて広く用いられたが、大正時代以降は、同じ香川県に分布する庵治石(花崗岩)が広く使われるようになったことを反映して豊島石の需要が減少し、21世紀初頭までに石材採掘地はすべて閉鎖された。

豊島石製の石塔は、初生的に軟質であることを反映して、風化による石材表面の剥離などの侵食がしばしば認められる。文化遺産である豊島石製の石塔の保存対策を考えるには、豊島石の風化特性を把握することが必要である。また、豊島石の採掘跡地は、豊島以外にも、小豆島・女木島などの備讃諸島や高松市の屋島北嶺などに点在している。石材の採掘は、主に斜面の急崖露岩を掘削して行われたため、採掘跡は穴丁場と呼ばれる洞窟状の形状を呈するものが多い。採掘跡地の斜面安定上の問題として、洞窟側壁を構成する岩盤には掘削後に生じたゆるみが進行していることが予測され、その評価と対策に基づく採掘跡地の保存が必要となろう。

本報では、以上のような観点から、豊島石製の石造文化財、ならびに採掘跡地の風化程度を評価した。対象とした石造文化財は、建立年代が既知の複数の五輪塔および鳥居であり、建立後、現在までの時間を風化継続時間と見なすことができる。豊島石の採掘跡地として、屋島北嶺に現存する採掘跡地の洞窟における側壁の露岩を対象とした。肉眼観察による石材の風化・侵食程度を観察するとともに、非破壊で測定可能な岩石物性として、(1) 色彩計を用いた色彩値の測定、(2) コンクリート水分計を用いた現場での水分含有量(含水比)の推定、(3) 帯磁率計を用いた帯磁率の測定を行った。それに加えて、屋島北嶺の掘削跡地では、(4) シュミットハンマーを用いた岩盤表面の強度の測定も行った。

豊島石の地質および岩石物性の概要

豊島石は、暗灰色の火山礫凝灰岩であり、径数 cm 以下の黒色を呈する玄武岩の岩片(亜円～亜角礫)を多く含む。風化すると、この玄武岩礫の黒色の度合いが低下するとともに、基質部分などが全体的に褐色に変化することが多い(第1図)。採掘跡地などの大きな露頭断面では、しばしば波状の葉理が認められる。この種の火山礫凝灰岩は豊島だけでなく、女木島・男木島・小豆島土庄町滝宮などの備讃諸島および高松市の屋島北嶺などにも分布する。これらの場所には、豊島石の採掘跡地である穴丁場が複数現存する(日本応用地質学会中国四国支部豊島石研究チーム, 2009; 長谷川, 2010)。

既存の研究では、豊島石の火山礫凝灰岩は、下位の土庄層群を覆い、中期中新世(約 14Ma)の讃岐層群(瀬戸内火山岩類に含まれる)に属すると考えられてきた(斉藤ほか, 1962; 板東・古市, 1978; 長谷川・斉藤, 1989)。しかしながら、従来、中新統と考えられてきた土庄層群は、含まれる微化石・大型植物化石・凝灰岩のフィッシュントラック年代に基づき、始新統が主体であることが明らかになってきた(栗田ほか, 2000)。最近、豊島で掘削されたボーリングコア(掘進長 54m)の観察に基づき、豊島石の火山礫凝灰岩は、下位の土庄層群の砂岩・泥岩層を覆い、上位を讃岐層群に属する安山岩に覆われていること、上位の安山岩との境界には、厚さ 6m に達する風化帯(風化殻)が形成されていることが明らかになった(長谷川, 2010)。さらに、豊島石の火山礫凝灰岩のフィッシュントラック年代は 16.2 ± 0.8 Ma、それを覆う安山岩の K-Ar 年代は 13.6 ± 0.3 Ma と報告されている(長谷川, 2010)。すなわち、豊島石の火山礫凝灰岩と、それを覆う瀬戸内火山岩類の安山岩との間には、約 2Ma にも及ぶ年代のギャップが存在することになる。

新鮮な豊島石の主な岩石物性は、乾燥密度が 1.71 g/cm^3 、湿潤密度が 2.02 g/cm^3 、吸水率 18.25%、Vp (P 波速度) が $1,292 \text{ m/s}$ 、Vs (S 波速度) が $2,666 \text{ m/s}$ 、点載荷強度が 1.81 N/mm^2 であり、X 線回折結果に基づく主要鉱物組成は、明瞭なピークを有する長石とともに、膨潤性粘土鉱物であるス멕タイトの含有が確認されている(長谷川, 2010)。



第1図 豊島石の新鮮部（上）と風化部（下）

対象とした豊島石製石塔と掘削跡地

対象とした豊島石製石塔は、寺院の墓地にある五輪塔が6基、神社の鳥居が1基である。それらの所在地を第2図に示すとともに、建立年代・風化継続時間・石塔の種類・直達日射や苔の有無などの調査諸元を第1表に示す。建立年代は松田（2009）による。最も標高が高い十輪寺が160mで、あとはすべて100m未満である。ただし、直接海岸に面した地点はない。直達日射のない林内が3基、直達日射がある林外が4基である。現地観察と測定は2010年9月と11月に実施したので、風化継続時間は、建立から2010年までの経過年数である。

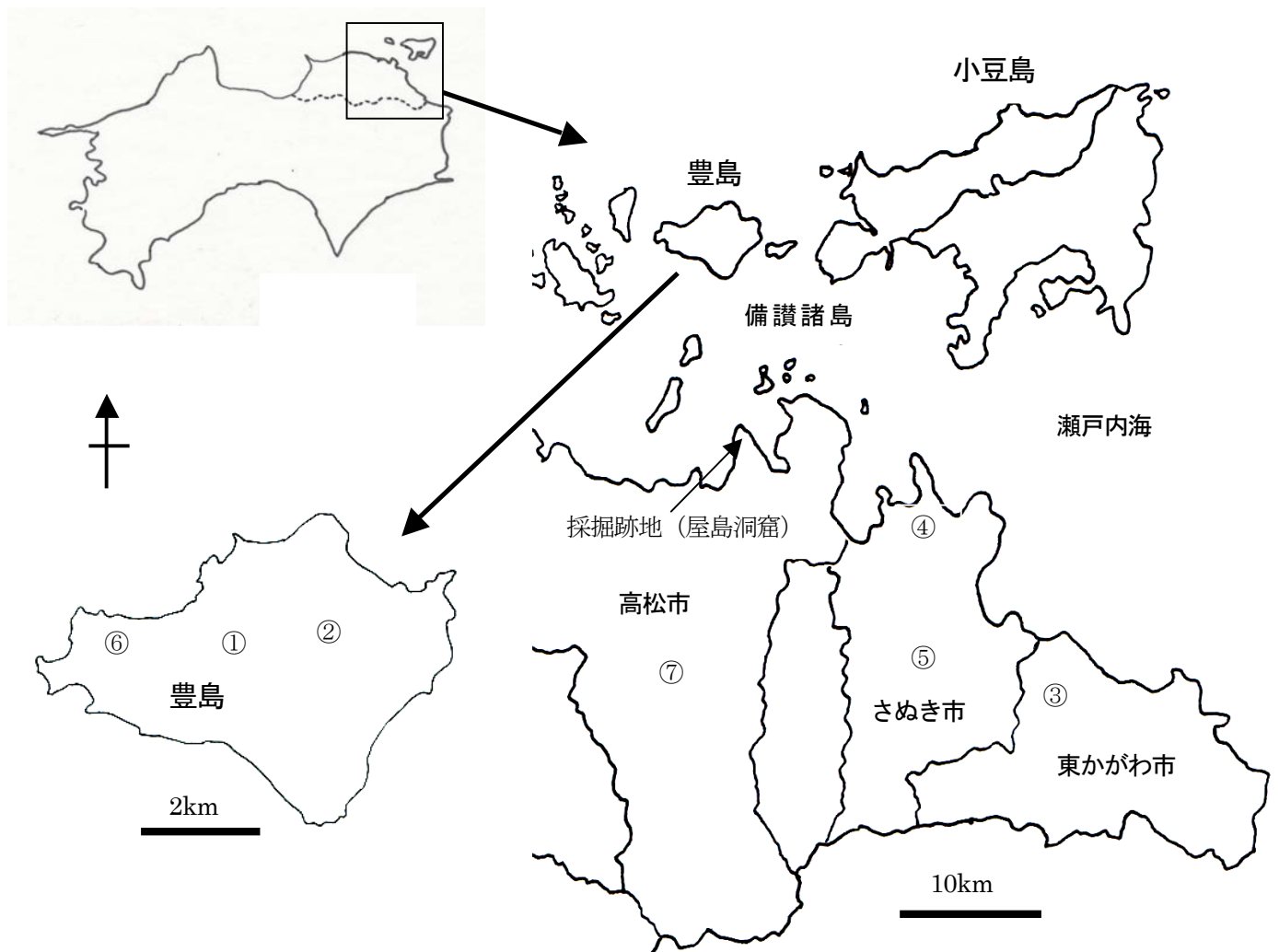
五輪塔は、基部から最上部まで6段の石材を積み上げた構造をなすため、測定可能な段について、色彩・水分・帯磁率測定を行った。可能な限り南向きまたは東向きの面を測定したが、現地の状況により北向きの面などを測定したことがある。用いた色彩計はコニカミノルタ製土色計 SPAD-503（測定窓の直径は8mm）、水分計はケツト科学研究所のコンクリート・モルタル水分計 HI-520、帯磁率計は ZH instruments 製の帯磁率計 SM-30 である。測定は、計器を石塔表面に当てて行った。色彩測定は西山ほか（2011）に従い、自然含水

状態の石塔に対し、直接測定で実施した。帯磁率計は測定マニュアルに従い、石塔に接触して測定した後、約30cm離して再度測定した。対象とした五輪塔は、1段につき色彩計は10回、水分計と帯磁率計は5回ずつ測定することを基準としたが、石材表面における苔の付着や、測定作業スペース不足により測定できない段があったほか、測定した段でも、回数が基準以下のものがある。測定回数は第1表に示した。これらの平均値を求めて、その石塔の代表値として用いた。色彩測定結果は $L^*a^*b^*$ 表色法で表現した。

水分計の読み取り値 x を含水比 w （%）に換算するため、豊島で採取した豊島石の岩片（弱風化）を用い、実験室で豊島石を飽和状態から乾燥させながら水分測定を繰り返し、含水比と水分計の読み取り値との相関を求め、水分計の値をすべて含水比に換算した。求めた換算式は、 $w = 12.2 \ln(x) - 15.9$ であり、決定係数 $R^2=0.97$ である。ただし、水分計のマニュアルでは、換算できる含水比の最低値は0.5%であり、これ以下の場合は「0.5%未満」と表記した。

対象とした五輪塔（第3図）は、特に上から3段目の角の部分が侵食されて大きく脱落し、角が丸まったものもある（第4図）。石材表面の色彩は、肉眼で見る限り、5段の石塔いずれにおいても大きな差は認められない。風化継続時間が長い石塔ほど、豊島石中に含まれる玄武岩礫の黒色の度合いが薄くなる（やや白っぽくなる）傾向が認められる。

林内に安置されている神内家墓地の五輪塔、ならびに家浦八幡神社の鳥居を除くと、墓地の改築などに伴い、墓地の隅に移設されており、光連寺のように仮設パイプで倒れないように補強されているものもあることから、建立当時の設置場所とは異なるとみなされる。ただし、墓地が改築された年代は不明である。現存地点の環境条件と石塔表面の苔の有無とを比較すると、林内などの直達日射が及ばない石塔表面での苔の付着が顕著であり、直達日射がある場所での苔の付着は認められない。現地での測定は、石塔表面の苔を避けて行った。



第2図 対象とした豊島石製石塔・採掘跡地の位置. ① 眼明寺, ② 十輪寺, ③ 東照寺, ④ 光蓮寺, ⑤ 極楽寺, ⑥ 家浦八幡神社, ⑦ 神内家墓地

第1表 対象とした豊島石製石塔の諸元

所在地	寺・神社名	種類	場所	標高(m)	直達日射の有無	苔の有無	測定した段	方位	建立年代(西暦)	風化継続時間(年) 2010年測定
土庄町豊島	眼明寺	五輪塔	墓地	10	あり	なし	2~4	北	1797	213
土庄町豊島	十輪寺	五輪塔	墓地(林内)	160	なし	あり(下部に多い)	1~6	南	1768	242
東かがわ市	東照寺	五輪塔	墓地(林内)	30	なし	あり(全体)	2~5	東	1750	260
さぬき市	光蓮寺	五輪塔	墓地	20	あり	なし	1~5	南	1655	355
さぬき市	極楽寺	五輪塔	墓地	40	なし	あり(全体)	2~5	南	1628	382
土庄町豊島	家浦八幡神社	鳥居	神社入口	10	あり	なし	—	南	1474	536
高松市	神内家墓地	五輪塔	林内	60	なし	あり(全体)	1~5	北	1466	544



第3図 豊島石製の五輪塔（十輪寺）.
スケールは1m



第4図 豊島石の角部分の脱落（東照寺）



第5図 豊島石の採掘跡地（屋島洞窟）の内壁.
内壁の横幅は約3.5m

豊島石の採掘跡地の一つである屋島洞窟は、屋島北嶺の北斜面の標高 140m 付近に位置し、火山礫凝灰岩からなる急崖露岩に複数の洞窟が形成されている。林内であり、洞窟外壁および内部に直達日射はない。対象とした洞窟は奥行きが約 5m あり、洞窟外壁および内壁は、いずれもほぼ鉛直である。内壁の表面には、掘削時に用いられた器具（ノミやチョーナ）の跡が残存しているほか、一部には表面に苔が付着した場所もある（第5図）。しばしば波状の葉理が認められるほか、チャンネルを充填した塊状礫岩が観察できる場所があり、径10cm程度の礫を含むこともある。外壁の一部では、岩盤表面に白色の析出物が付着した箇所もある。測定は、洞窟入口を基点とし、洞窟奥へ350cm までの区間の垂直の側壁を対象とし、10cm ごとに壁面のシュミットハンマー反発値（R 値）・色彩・帯磁率測定を実施した。シュミットハンマー反発値は連打法（松倉・青木，2004）で1箇所につき10回行い、その最大値と最小値を用いた。

石塔と採掘跡地（屋島洞窟）における測定結果

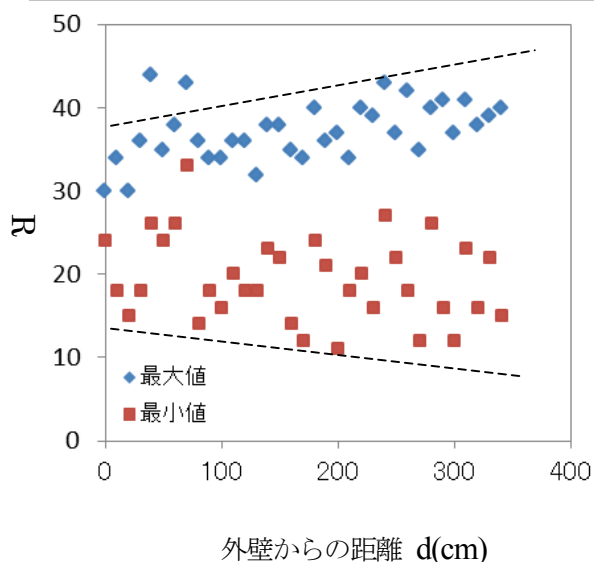
石塔の色彩値（ L^* ， a^* ， b^* ），含水比（%），帯磁率の平均値を第2表に示す。色彩値の括弧内の値は標準偏差を表す。 L^* 値は、風化継続時間が355年未満に比べ、382年を越えると2ほど増加する。ただし、536年の家浦八幡神社の鳥居のみは、風化継続時間の割に L^* が小さい。 a^* 値は、風化継続時間260年未満では負の値（緑色傾向）となるが、355年以上では正の値（赤色傾向）となる。 b^* 値は、風化継続時間に伴う系統的

第2表 豊島石製石塔の岩石物性測定結果. 色彩値 (L*a*b*) の括弧内は標準偏差.

寺・神社名	風化継続時間(年)	測定回数	L*	a*	b*	含水比	帯磁率
眼明寺	216	30	39.1 (1.9)	-0.2 (0.4)	2.1 (0.9)	0.5%未満	1.60
十輪寺	242	51	42 (2.7)	-0.1 (0.7)	5.3 (1.3)	0.5%未満	1.40
東照寺	260	38	39.1 (2.1)	-0.3 (0.3)	4.1 (1.2)	0.5%未満	1.61
光蓮寺	355	50	41.5 (3.3)	0.8 (0.8)	3.2 (2.0)	0.5%未満	1.45
極楽寺	382	20	44.0 (3.6)	0.1 (0.7)	3.4 (2.7)	0.5%未満	1.95
家浦八幡神社	536	10	40.5 (2.1)	1.0 (0.5)	3.4 (1.3)	0.5%未満	1.77
神内家墓地	544	20	44.9 (4.0)	0.6 (1.1)	5.3 (2.4)	0.5%未満	1.61

な変化は見いだせない. 換算した含水比は, いずれの測定結果も0.5%未満となった. 帯磁率は $1.4 \sim 1.9 \times 10^{-3}$ SI unit 程度でばらついており, 風化継続時間に伴う系統的な変化は認められない.

屋島洞窟の側壁で実施したシュミットハンマー測定結果を第6図に示す. R 値 (最大値) の上限値は, 図中に破線で示した傾向線のように, 洞窟の奥ほど大きくなる. 外壁から 300cm ほど奥では 40 程度なのに対し, 洞窟入口では 30 程度に低下している. 一方, R 値 (最小値) の下限値は, 洞窟の奥ほど低下する.



第6図 採掘跡地の屋島洞窟内壁におけるシュミットハンマー反発値 (R 値) の計測結果

屋島洞窟における色彩値の測定結果を第7図に示す. L*値は, 入口付近で 45 程度だが, 外壁からの距離が 200cm 付近で 35 にまで低下し, その後, 300cm では 40 程度となる. a*値は, 入口から奥まで明瞭な変化傾

向は認められない. b*値は, 値が 6 を超える洞窟入口付近の 2 点を除くと, 外壁からの距離が 200cm 付近で値が 1 程度と小さくなるほかは, 明瞭な傾向は認められない. 帯磁率の測定結果は, 入口から奥まで, ほぼ $1.0 \times 10^{-3} \sim 1.5 \times 10^{-3}$ SI unit の範囲に入り, 明瞭な変化傾向は認められない.

異なる風化継続時間を経た石塔の風化特性

今回対象とした石塔の風化継続時間は, 約 200~500 年にわたるものの, a*値, b*値で見ると, 測定値に経年的な変化は認められない (第2表). a*値・b*値の増加は岩石の色彩が褐色に変化することを表し, その原因はゲータイトなどの鉄鉱物の生成が考えられている (Nagano and Nakashima, 1989; Nakashima et al., 1992; 中嶋, 1994; 西山・松倉, 2001). したがって, 風化継続時間が最大で約 600 年の石塔では, 鉄鉱物の生成は生じていないと推定される. これに関して, 四万十帯砂岩の場合, 鉄鉱物の生成に伴う色彩の変化に要する時間は数万年以上との見積もりがある (西山・松倉, 2001, 2002).

一方, L*値は, 風化継続時間が約 400 年に達する石塔では, 300 年未満の石塔より値が低下している. この変化は, 新鮮帯では黒色を呈する玄武岩礫の風化による黒色程度の低下を反映したものと解される. すなわち, 豊島石の風化の初期段階では, 含まれる玄武岩礫の黒色度が低下する傾向が特徴的であり, その変化は L*値の低下として現れている.

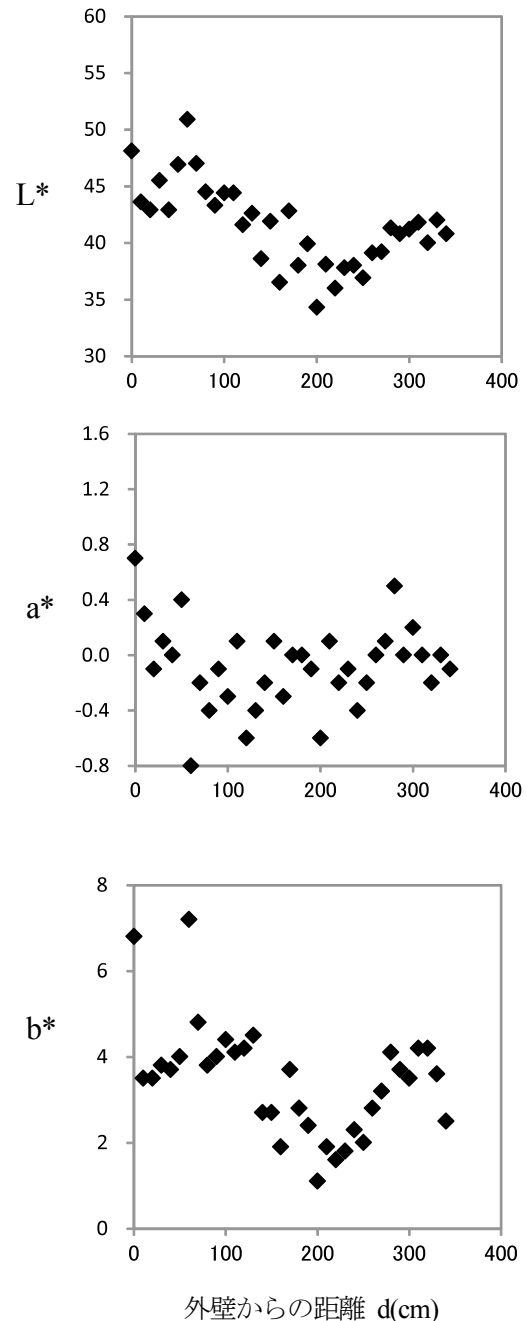
上の結果より, 風化継続時間 600 年未満の石塔で観察される亀裂や表面の剥離は, 主として物理的風化作用によると考えられ, 掘削後の応力解放や粘土鉱物の膨潤などが影響した可能性がある. X 線回折の結果で

は、豊島石にはスメクタイトの含有が確認されており（長谷川, 2010）、スレーキングの有無についての検討が必要である。ちなみに五輪塔では、角となる部分の剥離・脱落が顕著であることが知られており、方形とみなせる五輪塔基部の石塔を用いて、角部分の剥離量を見積もった研究例がある（朽津, 2010a）。それによると、岩種の違いによる差が大きい、鎌倉時代の凝灰岩製の五輪塔では、角が約 20mm も脱落している。

豊島石の五輪塔は四国・瀬戸内地方に多く分布することから、1707 年宝永地震などの南海トラフ巨大地震による強い地震動による転倒・破損を受けた可能性も考えられる。特に、高さ 4m を超える家浦八幡神社の鳥居は、建立後に 1498 年、1605 年、1707 年、1854 年、1946 年の 5 回の南海地震ならびに 1596 年慶長伏見地震を経験している。このうち、1596 年、1707 年、1854 年の少なくとも 3 回は、豊島を含む備讃諸島付近でも震度 6 程度に達したと考えられ（長谷川, 2010）、地震動による鳥居の倒壊と、その後の再建・補修などが行われた可能性がある。このほかの人為的な現象として、墓地の改築に伴う石塔の移設時に破損が生じた可能性もある。

石塔の風化継続時間と、色彩値・含水比・帯磁率には、いずれも明確な傾向は認められなかった。このことは、石塔の風化では、風化継続時間よりも、個々の石塔が置かれた風化環境の違いによる影響がより強いことを示す。例えば、屋内と屋外に置かれた同じ岩種の石塔の風化程度を検討した結果では、建立から約 400 年が経過した石塔において、屋内での石塔の風化程度が概して軽微なのに対し、風雨に直接さらされる屋外のほうが、風化がより進行している（朽津, 2010b）。また、砂岩石材の表面に繁茂した蘚苔類により強度が低下した例がある（朽津, 2008）。このほか、石塔表面における直達日射の有無や、それに影響する南向き・北向きといった石塔の方位、さらには土壌から石塔への毛管水の吸い上げと蒸発に伴う塩類風化も、風化プロセスを検討する上で考慮する必要がある。

今回の検討では、林内にあって直達日射がなく、かつ表面に苔の生育が認められる 4 基と、直達日射があり、表面に苔の生育が認められない 3 基とでは、色彩値や帯磁率に明瞭な差は認められなかった（第 2 表）。ただし、今回計測できなかった方形の石塔の角部分の剥離・脱落などに影響する可能性もあり、今後、石塔



第 7 図 採掘跡地の屋島洞窟内壁における色彩値（ L^* 、 a^* 、 b^* 値）の計測結果

の詳細な形状測定を行う必要がある。しかしながら、神内家墓地を除く五輪塔は、墓地の改築に伴って設置場所が移動させられたと推定されることから、過去の設置状況・設置方位やその後の変遷の詳細は不明であり、上述の風化環境とその変化を厳密に推定することは困難である。

採掘跡地における岩盤強度の低下

屋島洞窟で実施したシュミットハンマー測定結果から、洞窟奥の測定値が初生的な岩盤強度を示すものと考えられ、入口付近の強度低下は、掘削後に生じた風化の結果と見なされる。一方、色彩値 (b*値) の測定結果 (第7図) では、洞窟入口と奥側とで、系統的な値の変化は認められない。このことから、洞窟入口における強度低下は、水酸化鉄の形成に代表される鉱物学的・化学的な風化作用に起因する変化ではなく、掘削後の壁面に作用した応力解放による岩盤のゆるみを反映したものである可能性が高い。

屋島洞窟の採掘は江戸時代に開始され、1941年に終了したと推定されている (長谷川, 2010)。したがって、採掘開始から最大でも400年程度 (最低だと70年程度) 以内に、洞窟内壁の表面付近でR値を10程度低下させる岩盤のゆるみが生じたと考えられる。洞窟奥の平均的なR値40を掘削前の初期値と見なすと、掘削後に低下した入口付近の平均的なR値が30であるから、風化継続時間70~400年で初期値より約25%も低下したことになる。この値は、近世に山陰地方で多用された来待石 (中期中新統の来待砂岩) の強度が半減するのに要する時間が 10^2 年オーダーであるとの見積もり (横田ほか, 2006) に近い。豊島石は、地質学的には短時間といえる 10^2 年オーダーで強度が顕著に低下するタイプの岩石と推定される。

今回検討した屋島洞窟と同様の採掘跡地は、豊島を始めとする備讃諸島をはじめ、豊島石分布域の各所に現存している。これらの採掘跡地は現在、基本的に閉鎖されているが、文化遺産としてだけではなく、近代産業遺産としても貴重な遺構といえる。これらの掘削跡地についても、今後の保存・活用を念頭に置いて、屋島洞窟と同様の岩盤のゆるみが他の掘削跡の急崖でも生じていないかどうか、検討する必要がある。

まとめ

香川県に分布する火山礫凝灰岩の石材である豊島石の風化特性を解明するための検討を行った、香川県内に分布する建立年代が既知の石塔ならびに採掘跡地の風化程度を評価することができた。石塔はいずれも、表面の侵食による岩片の脱落が認められる。建立されてからの風化継続時間が約600年に及ぶ複数の石塔を比較すると、風化継続時間が長い石塔ほど、豊島石に

含まれる黒色の玄武岩礫の一部で黒色程度が低下している。一方、石材表面の褐色化は生じておらず、帯磁率にも系統的な変化は認められない。このことは、風化継続時間が最大で600年程度の石塔で進行した風化は、含まれる玄武岩礫の一部が風化により褐色化する程度であり、鉱物化学的な変化は顕著ではないと考えられる。江戸時代から採掘されていた豊島石の採掘跡地の洞窟では、洞窟奥に比べ、入口付近の強度が25%程度低下している。強度低下は、掘削に伴う応力解放による岩盤のゆるみが原因と考えられる。風化継続時間70~400年で強度が25%も低下していることから、風化による強度低下速度がかなり速い岩石といえる。文化遺産・近代産業遺産としても重要な豊島石製の石塔や採掘跡地の保存・活用のためには、このような風化特性に基づいた対策を検討することが不可欠である。

謝辞 日本応用地質学会中国四国支部豊島石研究チームの方々には、現地調査でお世話になった。香川県大川広域行政組合の松田朝由氏には、豊島石の石塔の分布と特徴についてご教示いただいた。東京文化財研究所の朽津信明博士には、五輪塔の風化についてご教示いただいた。徳島大学大学院ソシオ・アーツ・アンド・サイエンス研究部の村田明広教授には、原稿を査読していただき、多くの有益なご指摘を頂いた。以上の方々に、記して感謝申し上げます。

文献

- 板東祐司・古市光信, 1978, 香川県豊島の海成新第三系 (土庄層群) について. 香川大学教育学部研究報告 II, **28-2**, 65-80.
- 長谷川修一, 2010, 讃州豊島石の特性と豊島石石造物の時空分布に関する調査. 財団法人福武学術文化振興財団平成20年度瀬戸内海文化・研究活動支援調査・研究助成報告書, 142p.
- 長谷川修一・斉藤実, 1989, 讃岐平野の生い立ち. アーバンクボタ, **28** 「古瀬戸内海と瀬戸内火山岩類」, 52-59.
- 朽津信明, 2008, カンボジア, タ・ネイ遺跡における蘚苔類の繁茂と砂岩の風化. 保存科学, **46**, 111-119.
- 朽津信明, 2010a, 石造五輪塔で見る岩種による風化速度の違い. 日本応用地質学会平成22年度研究発表会

- 講演論文集, 193-194.
- 朽津信明, 2010b, 屋内と屋外での来待石製石塔の風化の違い. 応用地質, **50**, 329-335.
- 朽津信明・李心堅・関博充, 2005, 文化財の強度測定法と風化度合いの定量化について. 保存科学, **44**, 117-125.
- 栗田祐司・松原尚志・山本裕雄, 2000, 香川県小豆島の第三系土庄層群四海層の渦鞭毛藻化石年代(始新統)とその意義. 日本古生物学会第 149 回例会講演予稿集, 5-7.
- 松田朝由, 2009, 豊島石石造物の研究 I. 財団法人福武学術文化振興財団平成 19 年度瀬戸内海文化・研究活動支援調査・研究助成報告書, 157p.
- 松倉公憲・青木久, 2004, シュミットハンマー: 地形学における使用例と使用法にまつわる諸問題. 地形, **25**, 175-196.
- Nagano, T. and Nakashima, S., 1989, Study of colors and degrees of weathering of granitic rocks by visible diffuse reflectance spectroscopy. Geoch.Jour. **23**, 75-83.
- 中嶋 悟, 1994, 地球色変化ー鉄とウランの地球化学. 近未来社, 292p.
- Nakashima, S., Miyagi, I., Nakata, E., Sasaki, H., Nittono, S., Hirano, T., Sato, T. and Hayashi, H., 1992, Color measurement of some natural and synthetic minerals. Rep. Res. Inst. Natural Resources, Mining College, Akita Univ., **57**, 57-76.
- 日本応用地質学会中国四国支部豊島石研究チーム(研究代表者: 長谷川修一), 2009, 讃州豊島石の応用地質学的研究事始. 日本応用地質学会中国四国支部平成 21 年度研究発表会発表論文集, 59-64.
- 西山賢一・松倉公憲, 2001, 四万十帯砂岩の風化: 色彩および鉱物化学的性質の変化. 地形, **22**, 23-42.
- 西山賢一・松倉公憲, 2002, 風化による砂岩礫の物性変化速度. 応用地質, **43**, 216-225.
- 西山賢一・木村隆行・磯野陽子・井上弦, 2011, 色彩計を用いた岩石・土壌の色彩測定法. 応用地質, **52**, 62-71.
- 斉藤実・板東祐司・古市光信, 1962, 香川県地質図説明書, 内場地下工業株式会社発行, 65-66.
- 横田修一郎・妹尾大輔・西山賢一, 2006, 色彩値変化からみた来待石の風化速度, 応用地質, **47**, 188-195.

論文受付 2014 年 9 月 11 日

改訂論文受付 2014 年 9 月 24 日

論文受理 2014 年 9 月 29 日